

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕСУРСО- И ЭНЕГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Н.А. Спирин¹, Ю.Г. Ярошенко¹, А.Н. Дмитриев²

¹ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
(г. Екатеринбург, Россия)

²Институт металлургии УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)

Рассмотрены проблемы энерго- и ресурсосбережения в черной металлургии. Основное внимание уделено оснащению новым оборудованием доменных печей, снижению энергозатрат на выплавку чугуна, новым технологиям, использующих новые виды сырья, топлива и отходов, а также информационно-моделирующим системам для управления производством чугуна.

Ключевые слова: энергосбережение, ресурсосбережение, черная металлургия, производство чугуна, доменная печь, информационно-моделирующая система.

The energy and resource efficiency problems in ferrous metallurgy are considered. The main attention is given to the new equipment of blast furnaces, decrease the energy consumption for the iron smelting, the new technologies, using new types of raw materials, fuel and waste, and also the information modeling systems for pig iron production management.

Keywords: energy efficiency, resource conservation, ferrous metallurgy, pig iron production, blast furnace, information-modeling system.

Основной причиной высокой энергоемкости промышленной продукции в России по сравнению с зарубежными странами являются устаревшие по современным стандартам технологии и соответственно технологические и тепловые агрегаты. Сам вывод не нов, но при этом, по различным причинам, все кампании по энергосбережению направлены в основном на решение только организационно-правовых вопросов. Видимо, в этой связи и термин «энергосбережение» стал обозначать с некоторых пор самостоятельное научно-техническое направление вне всякой связи с технологией, процессом, агрегатом. Энергосбережение в промышленном производстве всегда связано, по большому счету, с технологией процесса и заниматься энергосбережением – значит заниматься снижением затрат энергии любого вида на осуществление конкретного технологического процесса в конкретном технологическом или тепловом агрегате.

Значительное же сокращение энергоемкости металлопродукции может быть достигнуто только за счет внедрения передовых малоэнергоемких металлургических технологий. В силу различных субъективных и объективных причин металлургическая промышленность развитых стран еще в 50–60-е годы прошлого столетия пошла по пути интенсивного снижения энергоемкости продукции за счет применения современных малоэнергоемких технологий, в т.ч. созданных в нашей стране (непрерывная разливка стали, испарительное охлаждение и др.).

Сегодня металлургический комплекс России в балансе страны потребляет 30 % производимой электроэнергии, 25 % природного газа, 10 % нефти и нефтепродуктов. Удельный расход топлива на 1 т проката в России выше на 25,0 %, чем в Японии и на 37,5 %, чем в странах ЕС. Это связано как с использованием морально устаревших технологий и физически изношенной, выработавшей свой ресурс техники, так и с низким уровнем внедрения научных достижений в области энергосбережения и использования внутренних вторичных ресурсов.

Главная цель развития металлургической промышленности России – преобразование ее в динамично развивающуюся, высокотехнологичную, и конкурентоспособную отрасль, интегрированную в мировую металлургию в рамках международного разделения труда [1]. Для достижения указанной цели главными задачами являются:

- техническое перевооружение действующего производства;
- внедрение современных энерго- и ресурсосберегающих экологически безопасных технологий.

Развитие отечественной металлургии в XXI веке происходит в новых условиях [2]:

1. Практически сформировались рынки сырья и топлива. Импорт сырья для производства металлов и экспорт продукции стал повсеместным явлением отечественной металлургии.

2. В мире происходит сокращение, а для некоторых регионов исчезновение месторождений чистых по примесям руд.

3. В России наблюдаются изменения экологических систем, что неизбежно приведет к смене приоритетов в технологической деятельности. Производительность, как главный приоритет в плановой экономике, уступит свое место энерго- и ресурсосбережению. Возрастут требования к экологической чистоте металлургического производства.

4. В ближайшие годы следует ожидать сокращения использования в металлургии природного газа.

5. В первой половине XXI века производство черных металлов альтернативными способами не изменится. Об этом свидетельствует развитие черной металлургии на протяжении последних 20 лет, в течение которых доля черных металлов, производимых внедомennым путем в мире, не превышала 5–6 %.

Факторами, лимитирующими развитие черной металлургии в большинстве стран, в том числе и России, в настоящее время являются дефицит природных и энергетических ресурсов и загрязнение окружающей среды [3–4].

Сложные, энергоемкие, высокотемпературные, зачастую быстротекающие физико-химические процессы получения чугуна, повышенные требования к экологической безопасности технологий и агрегатов, требуют проведения детального как предпроектного математического моделирования этих процессов, так и создания математических моделей реального времени для автоматизированных систем управления. Разработка новых технологий, математическое моделирование процессов возможны лишь на основе дальнейшего развития теории тепломассообменных процессов с учетом специфики пирометаллургических технологий.

Среди переделов современной черной металлургии доменное производство остается самым энергоемким, на долю которого приходится 40–50 % используемого в черной металлургии топлива. Одна из главных задач совершенствования доменного производства – сокращение расхода кокса – основного энергоносителя [5–9].

Пути совершенствования технологий доменного производства и результаты этой работы хорошо известны. На рубеже XXI века достигнуты рекордные показатели работы доменных печей по производительности, по удельному расходу кокса и углеводородных добавок – природного газа, мазута, пылеугольного топлива, по расходу кислорода и температуре дутья.

Достижение таких показателей обусловлено [10]:

- применением окускованного и офлюсованного железорудного сырья с высоким, до 59–61 %, содержанием железа;
- применением металлизированных окатышей и брикетов;
- применением комбинированного дутья за счет обогащения воздушного дутья углеводородными добавками – природным газом, мазутом и пылеугольным топливом, а также кислородом;
- возможностями нагрева дутья до 1200–1300 °С и более;
- применением бесконусных загрузочных устройств, позволяющих легко регулировать распределение рудной нагрузки по радиусу печей;
- применением компьютерных информационно-управляющих систем, специальных средств измерения и контроля состояния доменной печи и параметров доменной плавки.
- работой на устойчивых кислых шлаках с последующей десульфурацией выплавляемого сернистого (до 0,06 %) чугуна;
- применением высококачественных огнеупоров и эффективных систем охлаждения.

Анализ себестоимости чугуна, выплавляемого на предприятиях России, показывает, что более 50 % затрат приходится на железорудную (агломерат, окатыши) часть шихты и металлдобавки и около 40 % на топливо (кокс и природный газ). При этом затраты на кокс составляют более 90 % общих затрат на топливо. Таким образом, генеральным направлением в политике энерго- и ресурсосбережения в технологиях выплавки чугуна является борьба за экономию кокса – наиболее дорогой и дефицитной составляющей доменной шихты. Эта политика отражает применение дополнительных видов топлива, как заменителей части кокса, и обогащение дутья кислородом. Результаты работы доменных печей на протяжении последних десятилетий подтверждают перспективность такой технологии.

Не следует пренебрегать и железорудной частью шихты. Однако проблемы, связанные с уменьшением удельного расхода железорудных составляющих шихты при выплавке чугуна, лежат за пределами доменного производства, так как в значительной степени они определяются химическим составом руд, условиями их добычи и обогащения, а также технологиями окускования в производстве железорудного сырья.

Основные направления развития мирового доменного производства в XXI веке будут связаны с минимизацией расхода природных ресурсов и негативного влияния на окружающую среду за счет [5–10]:

- *технического оснащения доменных печей.* Новыми высокоэффективными российскими техническими разработками, превышающими мировой

уровень, являются воздухонагреватели Калугина и загрузочное устройство с роторным распределителем шихты. Созданный в России воздухонагреватель Калугина, по сравнению с лучшими зарубежными воздухонагревателями, имеет не только меньшую материалоемкость, но и расходы при его эксплуатации. Что касается загрузочных устройств, то в настоящее время отечественные доменные печи оснащены в основном устаревшими двухконусными аппаратами. Замена их бесконусными лотковыми и роторными загрузочными устройствами обеспечит рост производства чугуна и экономию кокса на 5–6 %;

- *снижения энергозатрат на выплавку чугуна.* Температура дутья находится в среднем по России на уровне 1100–1150 °С. При применении воздухонагревателей конструкции Калугина температура дутья может быть увеличена до 1400 °С, что позволит сократить расход кокса и повысить производительность печей на 5–8 %. В настоящее время в мире эксплуатируют 184 таких воздухонагревателей и 51 находится в стадии проектирования и строительства. На металлургических комбинатах России не используются (за исключением ОАО «Северсталь» и ОАО «НТМК») энергия сжатого доменного газа для выработки электроэнергии, тепла дымовых газов воздухонагревателей, система испарительного охлаждения с выработкой пара технологических параметров, современная сухая очистка от пыли доменного газа и аспирационных отсосов;

- *разработки инновационных технологий, расширяющих использование низкосортных руд, некоксуемых и слабококсуемых углей и отходов.* Основным энергоносителем, замещающим 15–20 % кокса в России, является природный газ, цена которого непрерывно увеличивается и может достичь критического значения 0,7–0,8 от цены кокса за 1000 м³. В этих условиях использовать природный газ становится экономически невыгодным. Снижение стоимости чугуна может быть достигнуто за счет использования более дешевых энергоносителей и, в частности, за счет подачи в доменные печи пылеугольного топлива. Большинство доменных печей за рубежом работает с вдуванием пылеугольного топлива (в среднем 150 кг/т чугуна, а на лучших заводах до 240 кг/т чугуна), в первую очередь это заводы Японии и Западной Европы. При использовании пылеугольного топлива, как свидетельствует мировой опыт, уже в настоящее время достигнута экономия кокса 20–30 %, а в перспективе эта экономия может достичь 40–50 %. Не осуществляется в полной мере рециклинг железосодержащих отходов и др. Объективными факторами более высоких энергетических затрат в черной металлургии России являются низкое содержание железа в руде, повышенные затраты на ее обогащение и получение товарного концентрата. Так, среднее содержание железа в добываемой руде в России составляет 36 %, в Бразилии – 58 %, в Индии – 61 %, в ЮАР – 62 %, в Австралии – 64 %. В связи с этим особое внимание следует уделять утилизации отходов на предприятиях черной металлургии: окалины, сухой пыли и шлама газоочисток технологических газов, аспирационного воздуха. Полной переработке подлежат все текущие шлаки доменного, сталеплавильного и ферросплавного производств, выход которых составляет более 30 млн т/год. Все текущие и отвальные железосодержащие отходы следует полностью использовать в производстве, при этом мощности по переработке отходов должны

быть рассчитаны на ликвидацию отвалов в течение 15 лет, что исключит загрязнение почвы и бассейнов рек тяжелыми металлами. Использование всех текущих и отвальных железоуглеродсодержащих отходов позволит сократить затраты на добычу, обогащение и транспортировку первородного железорудного сырья, исключить загрязнение почвы и бассейнов рек оксидами тяжелых металлов и другими вредными веществами;

- разработки и совершенствования *технологии доменной плавки комплексных железных руд, в том числе титаномагнетитовых*. На Урале и далее на восток железорудная база черной металлургии России представлена преимущественно рудами подобного типа – месторождения Медведевское, Копанское, Чинейское, Кручининское, Куранахское, Большой Сэйим, содержащие свыше 30 % запасов титана России. При разработке этих месторождений возникнут научно-технические проблемы извлечения из железованадиевых руд не только титана, но и железа и ванадия. Кроме того, при переработке руд по схеме «доменная печь – конвертер» потребуются совершенствование технологии доменной плавки с учетом повышения содержания соединений титана в доменном шлаке [18];

- *разработки мер, направленных на продление кампании доменных печей до 20 и более лет*. Разработка систем контроля состояния огнеупорной футеровки горна доменной печи получает все большее развитие. Также необходима разработка мер, направленных на управление формированием гарнисажа в нижней части доменной печи, например, путем введения в шихту титансодержащих материалов. Такие меры используются на доменных печах ряда стран мира [19];

- *внедрения современных информационно-моделирующих систем, максимальное приближение управления доменным производством к автоматизированному*. Отечественный и зарубежный опыт убедительно доказывает, что развитие предприятий металлургического комплекса, его техническое перевооружение, решение проблем качества и конкурентоспособности металлопродукции на мировом рынке требуют коренного совершенствования систем сбора, хранения, обработки, передачи и использования информации, применяемых как для управления технологическими процессами, так и для управления производством в целом [11–17]. Период экономического финансового кризиса характеризуется нестабильным спросом на металлопродукцию, изменением условий снабжения предприятий железорудными материалами и коксом, а также изменением цен на сырье и железнодорожные тарифы. В период кризиса условия работы доменных цехов существенно изменились. Эти изменения приводят к необходимости частых перешихтовок и периодической остановке и переводу печей на тихий ход. Следует отметить, что анализ в целом состояния вопроса по реально используемым математическим моделям в практике технологии ведения доменной плавки показывает: *в настоящее время разрыв между потенциальными возможностями средств автоматизации и реальными возможностями используемого программного обеспечения огромен*. В связи с этим следует выделить научные и технические проблемы создания автоматизированного управления производством чугуна, первостепенными из которых являются [12–14]:

- использование современных достижений в области математического моделирования, моделирования знаний, распознавания образов, теории и

практики доменной плавки, теории управления при разработке автоматизированных систем управления;

- разработка на основе современных принципов соответствующего математического, алгоритмического и программного обеспечения;

- создание интегрированных интеллектуальных компьютерных систем поддержки принятия решений для управления как доменной печью, так и комплексом доменных печей цеха в целом.

Решение этих проблем возможно только при наличии финансовых средств, заинтересованности металлургических предприятий и интеграции интеллектуальных ресурсов вузов, НИИ, проектных институтов.

Выводы

1. Все энергетические программы должны быть направлены, в первую очередь, не на обеспечение роста производства энергоресурсов, а на их экономное и рациональное использование. Для этого должны быть созданы соответствующие механизмы и условия, которые в настоящее время отсутствуют или практически не работают.

2. Проведение энергосберегающей политики в области пирометаллургии и в доменном производстве, в частности, разработка и реализация энергоэкологосберегающих технологий и агрегатов возможны только на основе теоретических представлений, базирующихся на фундаментальных науках, таких как математика, теплофизика, термодинамика и гидродинамика.

3. Одной из важнейших задач, решаемых научной школой металлургов-теплотехников, является развитие теплофизики процессов, теории тепло-массообмена применительно к металлургическим технологиям. При этом на государственном уровне следует заинтересовать компании в реальной поддержке отечественных ведущих научных школ в области ресурсоэнергосбережения в промышленности (в металлургии, в частности). В противном случае не только развитие, но и сохранение отечественных ведущих научных школ, а также подготовка необходимого квалифицированного научного и инженерно-технического и производственного персонала, способного решать проблемы энерго- и ресурсосбережения в России, станет проблематичным.

Список использованных источников

1. *Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2020 г. Приказ Министра промышленности и энергетики Российской Федерации 18.03.2009 г., № 150.*

2. *Лисин В.С. Стратегические ориентиры экономического развития черной металлургии в современных условиях. М.: Экономика, 2005. – 404 с.*

3. *Юзов О.В., Седых А.М., Афонин С.З. Экономические показатели и проблемы развития черной металлургии России // Черная металлургия: Бюл. Ин-та «Черметинформация», 2005, № 4. С. 3–11.*

4. *Юзов О.В., Седых А.М., Афонин С.З. Тенденции изменения экономических показателей развития черной металлургии России // Проблемы черной металлургии и материаловедения, 2008, № 2. С. 67–73.*

5. *Юсфин Ю.С. Основные направления ресурсосбережения в доменном производстве и его влияние на окружающую среду // Сталь, 2010, № 4. С. 12–13.*

6. *Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев [и др.] / Под ред. Ю.С. Юсфина. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 774 с.*

7. Савчук Н.А, Курунов И.Ф. Доменное производство на рубеже XXI века. М.: ОА «Черметинформация». 2000. – 42 с.
8. Курунов И.Ф. Доменное производство в Китае, Японии, Северной Америке, Западной Европе и России // *Металлург*, 2010, № 2. С. 69–77.
9. Теплотехника доменного процесса / Б.И. Китаев, Ю.Г. Ярошенко, Е.Л. Суханов [и др.]. М.: Металлургия, 1978. – 248 с.
10. Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М., Ходоровская И.Ю. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии. Екатеринбург: ОАО «УИПЦ». 2012. – 670 с.
11. Математические модели оптимального использования ресурсов в доменном производстве / А.В. Бородулин, Х.Н. Гизатуллин, А.Д. Обухов [и др.] / Под ред. В.Д. Мазурова и Ю.Г. Ярошенко. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1985. – 148 с.
12. Ченцов А.В., Чесноков Ю.А., Шаврин С.В. Балансовая логико-статистическая модель доменного процесса. М.: Наука, 1991. – 92 с.
13. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев [и др.]. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. – 301 с.
14. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии / Н.А. Спирин, В. В. Лавров, С.И. Паршаков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. – 307 с.
15. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.] / Под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
16. Дмитриев А. Н. Математическое моделирование доменного процесса. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 162 с.
17. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]. Екатеринбург: УрФУ, 2014.– 558 с.
18. Леонтьев Л.И., Дмитриев А.Н. О проблеме обеспечения сырьем производства пигментного диоксида титана / *Комплексное использование минерального сырья*. 2015. № 1. С. 37–45.
19. Hartig W., Amirzadeh-Asl D., Fünders D. Economical effects of the metallurgical use of synthetic TiO_2 Products in order to prolong the campaign of blast furnace / *Proceedings of METEC & 2nd ESTAD*, 15 to 19 June 2015, Düsseldorf, Germany. Düsseldorf, 2015. Track C. Session 3.